第45卷 第6期
2022年11月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 45 No. 6
Nov. 2022

近20 a塔城地区暖区暴雪环流分型及成因分析

魏娟娟， 万 瑜， 张俊兰， 赵凤环， 李桉孛

（新疆维吾尔自治区气象台，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要：选用2000—2019年11月—次年3月塔城地区7个国家气象观测站逐日降水、温度、常规地面和高空观测资料、美国国家环境预报中心(NCEP)再分析资料，确定近20 a塔城地区暖区暴雪天气过程并进行分析。结果表明：(1) 塔城地区暖区暴雪发生于塔额盆地的塔城站、裕民站和额敏站，塔城站出现频次最多；时间分布上，11月和12月出现暖区暴雪的频次最高，且主要集中在11月中旬—12月上旬，1月次之，2月最少。(2) 塔城地区暖区暴雪分为3类：低槽前部型、横槽底部型和西北急流型，地面低压为西方和西北路径。低槽前部型是最典型的暖区暴雪形势，主要出现在11月—12月上旬，发生在西西伯利亚低槽前部锋区与南支中纬度短波槽汇合区，地面低压为西北路径；横槽底部型主要出现在11月—次年1月，发生在极锋锋区底部偏西气流和中纬度暖湿西南气流汇合的强锋区中，地面低压为西方路径；西北急流型主要出现在11—12月，发生在极锋锋区西北气流中，地面低压为西北路径。(3) 500~300 hPa强西北或偏西急流、700 hPa偏西低空急流、850 hPa暖式切变的叠置区与暖区暴雪落区一致，低槽前部型和西北急流型为锋前暖区产生暴雪，横槽底部型为低压右前部暖锋锋生产生暴雪。(4) 低槽前部型和横槽底部型的水汽均为偏西路径，来自地中海、阿拉伯海的水汽经里海、咸海增强后向暴雪区输送；西北急流型有偏西和西北2条水汽输送路径，来自高纬度巴伦支海的水汽与来自中低纬度里海、咸海、地中海、阿拉伯海的水汽在巴尔喀什湖附近汇合后向暴雪区输送，较强的水汽输送伴随低层明显的水汽辐合，强辐合中心位于850~700 hPa之间。

关 键 词：暖区暴雪；时空分布特征；天气学分型；天气系统三维配置

文章编号：1000－6060(2022)06－1718－11(1718～1728)

新疆位于欧亚大陆腹地，地域广阔、地形复杂，南部有昆仑山脉，北部为阿尔泰山，天山山脉横亘于新疆中部，形成“三山夹两盆”的地形特征，具有独特的温带大陆性干旱气候特征，冬半年气候寒冷，降雪天气频繁，积雪深厚，暴雪天气是重要的气象灾害之一。新疆暴雪集中于北疆偏西偏北地区及天山北麓，暴雪受不同天气系统的影响分为暖区暴雪和冷锋暴雪，通常情况下，天山北麓暴雪为冷锋暴雪，而塔城、阿勒泰地区暴雪多为暖区暴雪。由于暖区暴雪降雪量级大、持续时间长，对农牧业、交通、电力及人民生产生活均带来严重的影响和危害，例如2009年12月—2010年3月，北疆北部出现多次暖区暴雪天气，遭遇60 a一遇的连续暴雪过程，多站累积降雪量突破历史同期极大值(>50 mm)，雪灾损失严重。

近年来，关于暴雪已有很多研究成果，我国暴雪主要分布在东北、华北、青藏高原及新疆天山以北地区[1-2]。对于东北暴雪的研究表明，春秋季为暴雪主要发生期，空间上集中出现在长白山区、辽东半岛和大兴安岭山区，暴雪量整体呈增加趋势[3-4]；引发暴雪的高空影响系统以高空槽居首，冷涡次之，切变最少，地面系统有低压倒槽和气旋[5]；深厚

收稿日期：2021-02-28； **修订日期**：2022-05-11

基金项目：新疆维吾尔自治区自然科学基金青年科学基金项目(2022D01B54)；2020年度国家自然科学基金重点项目(42030612)；新疆维吾尔自治区气象台项目(2020QT04)资助

作者简介：魏娟娟(1994-)，女，助理工程师，主要从事天气预报和灾害性天气研究. E-mail: 1480284062@qq.com

通讯作者：万瑜(1983-)，女，硕士研究生，高级工程师，主要从事天气预报和灾害性天气研究. E-mail: 501876309@qq.com

强锋区、北上江淮气旋、低空偏南急流、非地转湿Q矢量辐合上升支的强弱和位置与降雪的强度、落区关系密切[6-7]。对于华北暴雪的研究表明，暴雪的主要影响系统是500 hPa西风带低槽、700 hPa西南急流及东西向切变、850 hPa东北急流和地面倒槽[8-9]；涡度、散度场的空间配置极有利于暴雪切变线发展及暴雪形成与维持，正涡度区内"正涡度核"对预报强降雪的出现有先兆指示意义[10-11]。对于青藏高原暴雪的研究表明，高原区域性强降雪主要环流形势为印度低压型、南北支槽型、巴尔喀什湖低压型、伊朗高压型和高原低涡-切变型[12]；在南支槽和孟加拉湾风暴结合的天气尺度条件下，槽前偏南风低空急流受高原大地形阻挡产生的高原切变线是高原暴雪的直接影响系统[13]。20世纪90年代后新疆雪灾明显增大，2010年出现跃增特点，空间上西部多于东部，北部多于南部，山区多于盆地或平原[14]，而北疆暴雪分为冷锋暴雪和暖区暴雪，冷锋暴雪是由北方冷空气与西南暖湿气流汇合造成的，暴雪发生在强冷锋锋区内，而暖区暴雪是北方南下的冷空气相对更冷而形成的冷暖汇合造成的，由冷锋前暖锋引发[15]。针对天山北麓的冷锋暴雪研究发现，暴雪时高低空系统呈典型后倾结构，乌鲁木齐降雪前存在位势不稳定加强，中尺度云团是造成暴雪的最直接影响系统，具有明显的中β尺度特征，回波强度和中低层风场辐合越强，回波顶高越高，黑体亮温(Black body temperature，TBB)等值线梯度越大，降雪强度越大[16-18]；且暴雪发生频率以0.3次·$(10a)^{-1}$趋势上升，具有准20 a振荡周期，天气形势有槽前西南气流型、高空槽东移型和强锋区型[19]；而对于暖区暴雪，刘晶等[20-24]针对北疆偏西偏北的某场暖区暴雪过程分析了动力、热力、水汽及中尺度等特征。塔城地区暴雪的研究集中在塔城地区南部的冷锋暴雪，环流形势有西西伯利亚低槽东移南下型、南北两支锋区结合型、乌拉尔山低槽东移型[25]。目前，对塔城地区暖区暴雪特征的系统性研究文献较少，因此本文系统的对其时空分布、天气学分型及天气成因进行研究，为提高暴雪落区与强度预报准确率提供科学参考依据。

1 研究区概况

塔城地区地处新疆西北部，北部是西准噶尔山山脉，南部为北天山山脉，西面是塔额盆地，中东部为准噶尔盆地，地形多具特色，其中塔额盆地三面环山，地势北高南低，由东北向西南倾斜，塔尔巴哈台山横亘于北，东有东北西南向的吾尔喀什尔山，将塔城地区北部构成向西开口的"喇叭口"地形(称塔额盆地)(图1)。

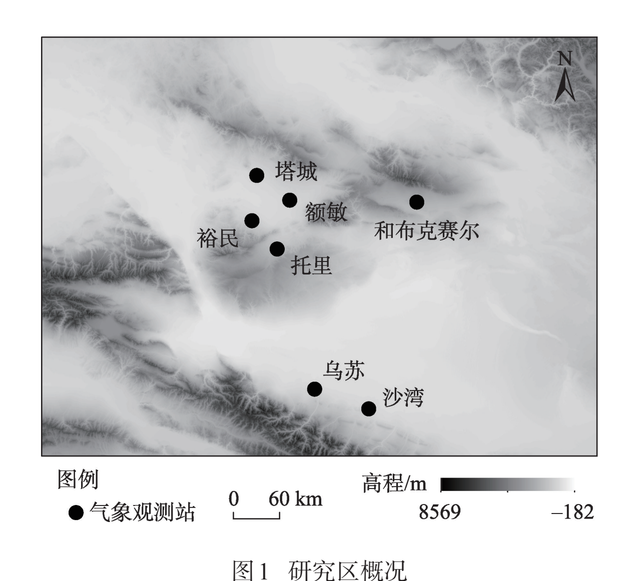


图1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

2 数据与方法

本文选用2000—2019年11月—次年3月塔城地区7个国家气象观测站逐日降水、温度、常规地面和高空观测资料、美国国家环境预报中心(NCEP)的1°×1°和2.5°×2.5°再分析资料，通过大气环流特征对近20 a塔城地区暖区暴雪的影响系统进行分类，采用天气动力学分析方法，对水汽通量和水汽通量散度、锋生函数、假相当位温等物理量进行诊断分析，得出不同类型暖区暴雪的系统结构特征。

文中采用新疆降雪标准：12.0 mm<24 h降雪量(R)≤24.0 mm为暴雪，24.0 mm<R≤48.0 mm为大暴雪，R>48.0 mm为特大暴雪。暖区暴雪定义为11月—次年3月R>12.0 mm、并伴有3 h变压(ΔP_3)减压及24 h变温(ΔT_{24})升温(简称"减压升温")的降雪天气现象。

3 结果与分析

3.1 时空分布特征

通过2000—2019年11月—次年3月塔城地区7

个国家气象观测站逐日降水和温度,筛选近20 a塔城地区的12场典型暖区暴雪天气过程,发现塔城地区暖区暴雪仅出现于塔额盆地的塔城站、裕民站和额敏站,且塔城站出现频次最多(12次),裕民站次之(8次),额敏站最少(6次)。但3站出现暖区暴雪时的平均日降雪量裕民站最大(24.3 mm),额敏站次之(19.7 mm),塔城站最小(19.4 mm)(图2a)。时间分布上,暖区暴雪在2010年出现跃增特点(5次),且塔城、裕民、额敏站平均日降雪量17.2~22.8 mm,均达暴雪标准,暴雪影响范围广,强度强;其他年份出现频次均为0或1次·a^{-1}(图2b~c)。以塔城站为代表,发现暖区暴雪主要发生在11月(5次)和12月(4次),且主要集中于11月中旬—12月上旬(6次);1月次之(2次),集中于1月中下旬;2月无暖区暴雪发生;3月仅发生1次,集中于3月上旬(图2d)。

3.2 天气学分型

依据高空500 hPa环流形势和地面气压场,对塔城地区暖区暴雪个例进行天气学分型。主要分为低槽前部型、横槽底部型和西北急流型3类,地面低压有西方、西北2条路径。其中低槽前部型有6例,占比最高(50%),地面低压以西北路径影响新疆,主要出现在11月—12月上旬(占67%),1月和3月出现次数较少;横槽底部型3例(25%),地面低压为西方路径,主要出现在11月—次年1月;西北急流型3例(25%),地面低压为西北路径,主要出现在11—12月(表1)。

3.2.1 低槽前部型 此类暖区暴雪前500 hPa欧亚范围中高纬呈两槽两脊经向环流,欧洲和新疆北部至贝加尔湖附近为高压脊区,西西伯利亚为低压槽区,低槽南伸至40°N附近,中纬度存在短波扰动,受上游不稳定小槽侵袭,欧洲脊向东南衰退,推动西西伯利亚低槽东移,中纬度短波槽东北上过程中与西西伯利亚低槽结合,低槽底部锋区加强,由于下游贝加尔湖地区的高压脊强盛,致使低槽东北移缓慢,低槽主体位于45°~70°N,槽前西南偏西气流造成的强锋区影响新疆北部(图3a),造成此类暖区暴雪天气。下面进行典型个例详细分析。

(1) 天气概况及成因分析

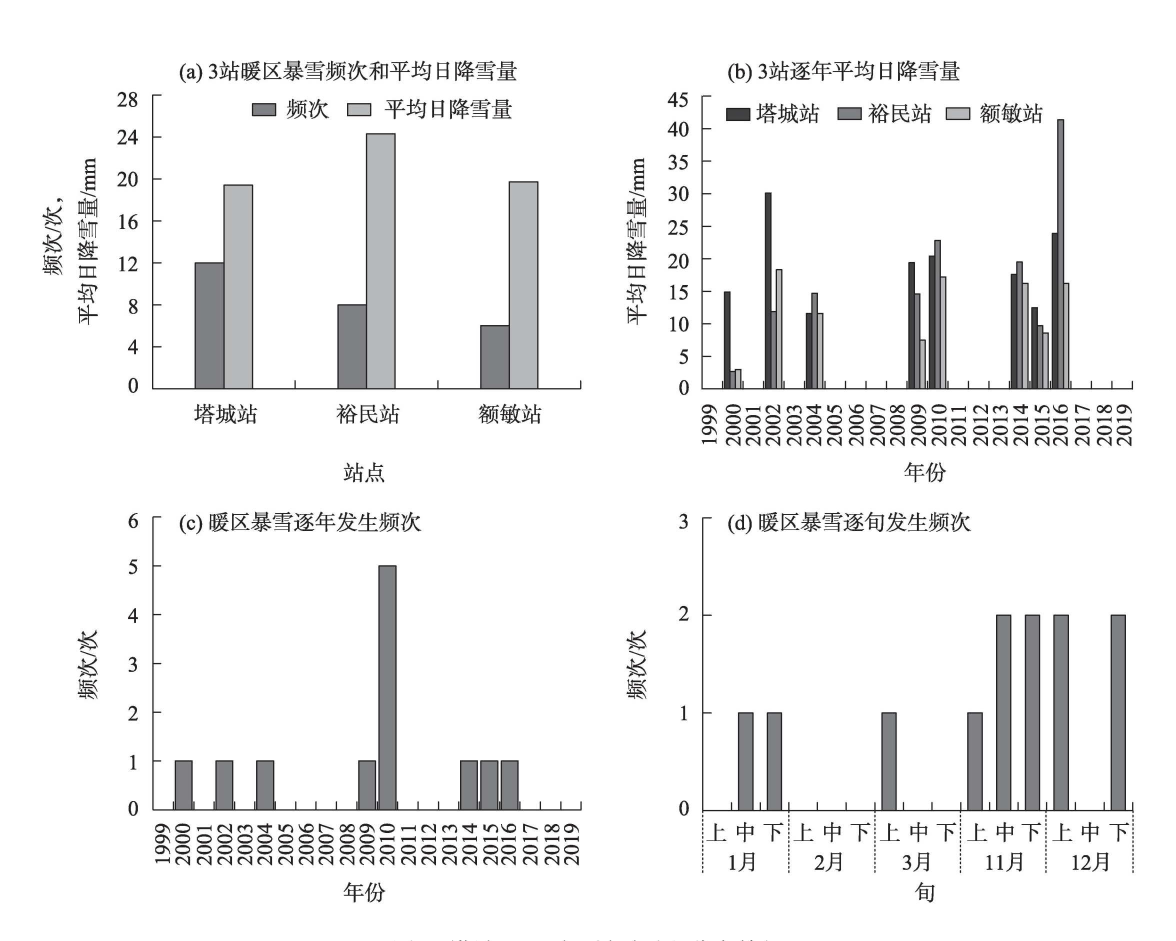


图2 塔城地区暖区暴雪时空分布特征

Fig. 2 Spatial and temporal distribution characteristics of blizzard in warm area in Tacheng area

表1　近20 a塔城地区暖区暴雪个例及天气学分型

Tab. 1　Cases and synoptic types of blizzards in warm areas in Tacheng area in the past 20 years

序号	日期	500 hPa		850 hPa		地面	
		环流分型	环流背景	暖式切变	暖温度脊	低压强度/hPa	路径
1	2000年12月3—4日	低槽前部	两槽两脊	西南风与东南风	强	992.5	西北
2	2002年11月19—21日	低槽前部	两槽两脊	西南风与东南风	强	1007.5	西北
3	2004年11月6—7日	低槽前部	两槽两脊	西南风与东南风	强	1000.0	西北
4	2009年1月15—16日	低槽前部	两槽两脊	西南风与东南风	强	1010.0	西北
5	2010年3月9—10日	低槽前部	两槽两脊	西南风与东南风	强	1002.5	西北
6	2010年12月2—3日	低槽前部	两槽两脊	西南风与东南风	强	987.5	西北
7	2010年12月20—22日	横槽底部	两槽一脊	西南风与东南风	较强	1020.0	西方
8	2014年1月29—31日	横槽底部	两槽一脊	西南风与东南风	较强	1007.5	西方
9	2015年11月19—20日	横槽底部	两槽一脊	西南风与东南风	较强	1015.0	西方
10	2010年11月18—19日	西北急流	两槽一脊	西北风与东南风	-	1000.0	西北
11	2010年12月26—27日	西北急流	两槽一脊	西北风与东南风	-	1015.0	西北
12	2016年11月10—12日	西北急流	两槽一脊	西北风与东南风	-	1005.0	西北

2009年1月15—16日，塔额盆地出现降雪，塔城、裕民、额敏站日降雪量（15日20:00—16日20:00）分别为19.4 mm、14.6 mm、7.5 mm，其中塔城、裕民达新疆暴雪标准。以塔城站为代表，分析其地面降雪量、温度、气压随时间的变化（图3b），主要降雪时段为15日12:00—16日08:00，气压自969.1 hPa开始降低，17 h降压7.5 hPa，夜间地面温度升幅达4 ℃，即降雪期间气压呈下降趋势，温度呈升高趋势，属于典型暖区暴雪。

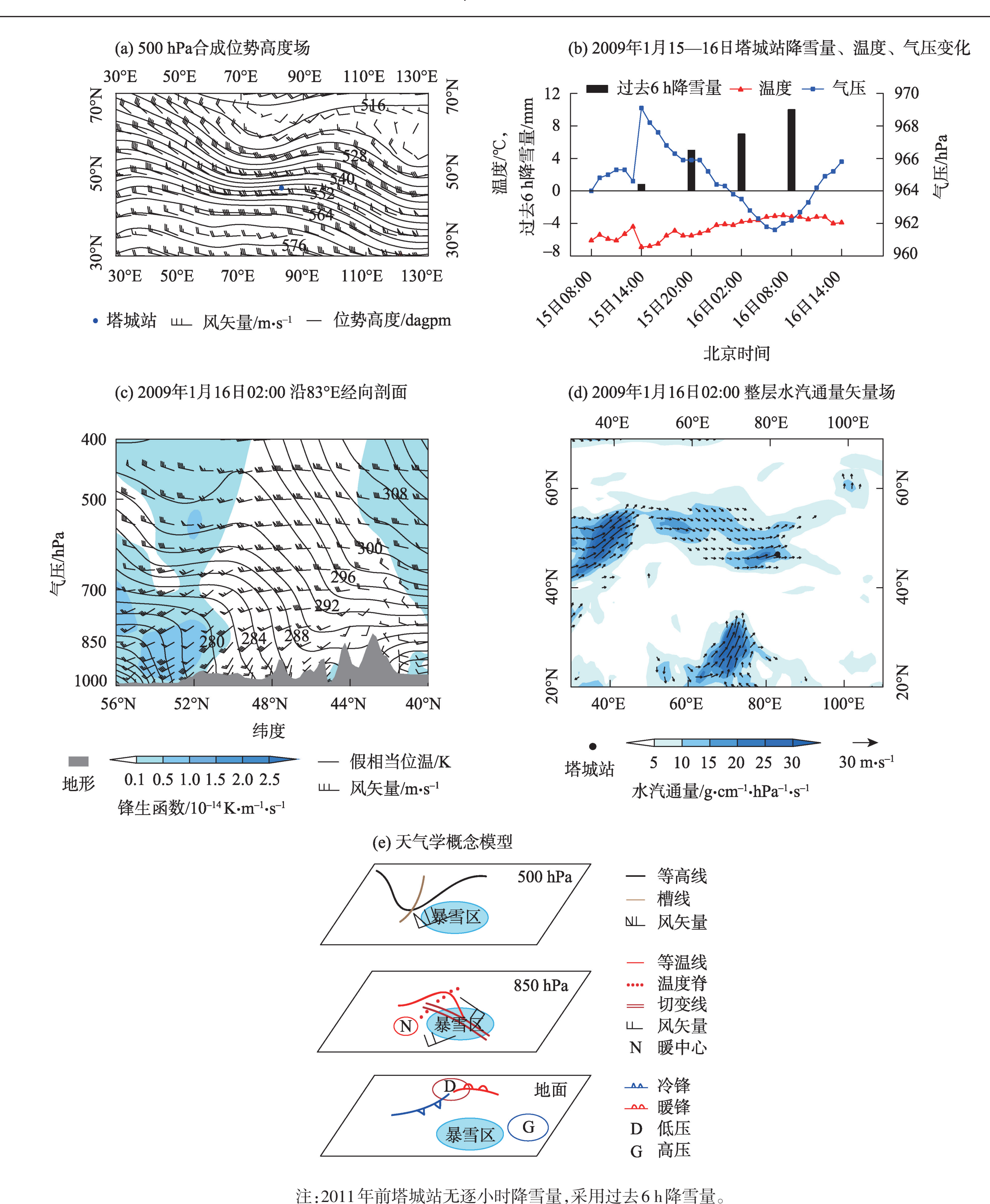
暴雪初期1月15日20:00（图略），300 hPa新疆北部处于高空西北偏西急流带中（>36 $m\cdot s^{-1}$），急流核最大风速达40 $m\cdot s^{-1}$，500 hPa西西伯利亚低槽底部强西风锋区（>26 $m\cdot s^{-1}$）位于45°~50°N，700 hPa巴尔喀什湖东部至塔城地区为西南偏西低空急流，风速>16 $m\cdot s^{-1}$，850 hPa塔城站与阿勒泰站为西南风与东南风的暖式切变，北疆偏西偏北地区存在暖温度脊。地面低压以西北路径东移影响新疆以北地区，低压中心（1005 hPa）位于西西伯利亚，高压中心（1030 hPa）位于蒙古地区，低压外围东南部影响北疆偏北地区，塔城地区以北锋生，塔城地区位于锋前暖区。分析沿83°E的假相当位温、锋生函数垂直剖面（图3c），50°N以北存在等假相当位温的密集带，主要集中在600 hPa以下，锋生函数为0.5×10^{-14} $K\cdot m^{-1}\cdot s^{-1}$，而塔城地区等假相当位温呈下凹趋势，处在锋前暖区，充沛的暖湿气流在西南风的引导下向北输送，产生暖区暴雪。

分析1000~500 hPa整层垂直积分水汽通量矢量（图3d）以期发现此次暴雪过程的水汽源地及输送特征，水汽自地中海、阿拉伯海北上，经黑海增强后输送至黑海以北地区，后沿偏西气流经东欧、乌拉尔山、巴尔喀什湖输送至北疆北部，输送过程中水汽通量值均较小，到巴尔喀什湖后迅速增大，在塔城地区以西出现大值中心20 $g\cdot cm^{-1}\cdot hPa^{-1}\cdot s^{-1}$，即水汽以偏西路径输送至暴雪区。此时地面至500 hPa之间伴有明显的水汽辐合，强辐合中心位于850~700 hPa之间，约-5×10^{-6} $g\cdot hPa^{-1}\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}$（图略）。

（2）三维空间配置概念模型

低槽前部型暖区暴雪（图3e）为西西伯利亚低槽前部锋区与中纬度短波汇合型，500 hPa欧洲、新疆北部至贝加尔湖为高压脊区，乌拉尔山至西西伯利亚为低槽区，塔城地区处在500~300 hPa强盛西北偏西急流、700 hPa西南偏西低空急流，850 hPa西南风与东南风的暖式切变和强暖温度脊的叠置区，地面低压以西北路东移影响新疆，锋前中亚至北疆西部暖空气活跃，存在3 h负变压和24 h正变温区，由于蒙古高压稳定，北疆西北部减压明显，东西压差加大，“东高西低”地面形势加强，有利于低槽前部型暖区暴雪出现。

3.2.2　横槽底部型　此类暖区暴雪前500 hPa欧亚范围中高纬呈两槽两脊经向环流，南欧为浅脊，乌拉尔山为低槽，南伸至45°N附近，西西伯利亚至新疆北部为高压脊区，受短波槽东移扰动影响，西西伯利亚至新疆北部的高压脊逐渐减弱消失，上游欧



注:2011年前塔城站无逐小时降雪量,采用过去6 h降雪量。

图3 低槽前部型

Fig. 3 Low trough front type

洲极地高压东移南下,使得欧洲脊加强,脊前偏北气流引导极地冷空气南下至西西伯利亚地区,在50°N附近切涡或形成东西向的横槽,新疆北部处于横槽底部偏西气流控制下,里海、咸海以北存在中纬度短波槽,其前部暖湿气流与横槽底部偏西气流汇合,冷暖空气交绥,锋区加强,产生暴雪,随着高压脊向东南衰退,脊前东北风转为西北风,槽前出现冷平流,横槽转竖东南下,暖区暴雪结束,由于横槽转竖受低槽东移影响,冷锋降雪产生并持续一段时间(图4a)。下面进行典型个例详细分析。

(1) 天气概况及成因分析

2014年1月29—31日,塔额盆地出现暴雪,塔

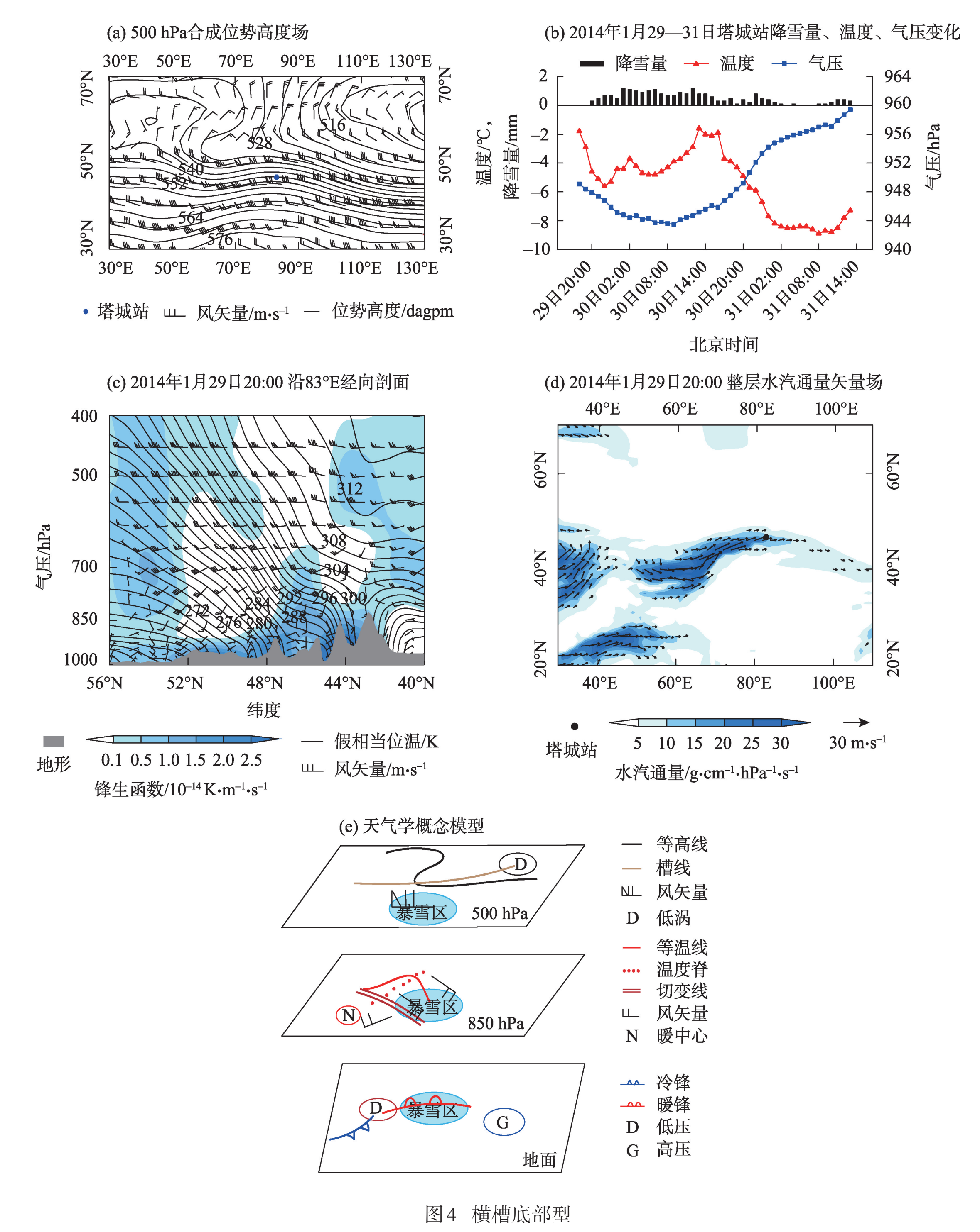


图4　横槽底部型

Fig. 4　Horizontal trough bottom type

城、裕民、额敏站累积降雪量分别为22.5 mm、26.3 mm、21.8 mm，新增积雪分别为13 cm、44 cm、39 cm；日降雪量（29日20:00—30日20:00）分别为17.6 mm、19.5 mm、16.2 mm，分析塔城站地面降雪量、温度、气压随时间的变化（图4b），主要降雪时段为29日20:00—31日08:00，最大小时雪强1.2 mm，满足气压呈下降趋势，温度呈升高趋势，但气压和温度变化幅度较低槽前部型小。

暴雪初期1月29日20:00，300 hPa新疆北部处于高空西北急流带中（>40 m·s^{-1}），急流核最大风速达64 m·s^{-1}。500 hPa西西伯利亚横槽底部强西风锋区（>40 m·s^{-1}）位于45°~52°N，700 hPa巴尔喀什湖东部至塔城地区为西南偏西低空急流，风速达20 m·s^{-1}，850 hPa塔城地区西南部存在西南风与东南

风的暖式切变，北疆偏西偏北地区存在暖温度脊。地面低压以偏西路径移至巴尔喀什湖附近，中心气压达1007.5 hPa，蒙古高压为1032.5 hPa，低压外围东扩至北疆偏西地区，低压倒槽开始影响塔城，暖空气强盛不断推动冷空气东移北上，在低压右前方暖锋锋生(图略)。分析沿83°E的假相当位温、锋生函数垂直剖面(图4c)，42°N以北存在等假相当位温密集带，主要集中在700 hPa以下，且向北(冷空气)倾斜，较第一型锋生位置偏低且位置偏南，为暖锋锋生，锋生函数为1.5×10^{-14} K·m^{-1}·s^{-1}，充沛的暖湿气流在偏南气流引导下沿冷空气向北、向上爬升，产生暖区暴雪。

分析此次暖区暴雪1000~500 hPa整层垂直积分水汽通量矢量(图4d)，来自地中海和阿拉伯海的水汽沿西南气流输送，在里海、咸海南部汇合后增强，沿西南偏西气流输送至巴尔喀什湖附近，再沿横槽底部西风气流以偏西路径输送至暴雪区，输送过程中水汽通量值均较大，大值中心达30 g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1}，即水汽以偏西路径输送至暴雪区。此时地面至500 hPa之间伴有明显的水汽辐合，暖区暴雪期间水汽辐合中心位于700 hPa附近，约-7×10^{-6} g·hPa^{-1}·cm^{-2}·s^{-1}，当水汽辐合层厚度降低至700 hPa以下且强度减弱后，暖区暴雪结束，冷锋降雪开始(图略)。

(2) 三维空间配置概念模型

横槽底部型暖区暴雪(图4e)发生于极锋锋区底部偏西气流和中纬度暖湿西南气流汇合的强锋区中，降雪期间500 hPa欧洲为阻塞高压，西西伯利亚至鄂霍次克海为低涡区，低涡西侧形成东西向横槽，塔城地区处于横槽底部西风气流控制之下。500~300 hPa为强盛的西北急流、700 hPa为偏西低空急流，850 hPa塔城地区西南部存在西南风与东南风的暖式切变。地面低压以偏西路径东移影响新疆，低压右前方暖锋锋生产生暖区暴雪。随高压脊向东南衰退，脊前东北风转为西北风或北风，槽前出现冷平流，横槽转竖东南下，暖区暴雪结束，受横槽转竖后低槽东移影响，冷锋降雪产生并持续一段时间，故横槽底部型为暖区暴雪与冷锋暴雪并存的过程。

3.2.3 西北急流型 此类暖区暴雪前500 hPa欧亚范围中高纬度呈两槽两脊型，南欧为浅脊，乌拉尔山至西西伯利亚地区为低涡，低涡中心位于70°N以北，贝加尔湖地区为高压脊区，受低涡底部分裂短波槽影响，脊后冷平流与正热成风涡度平流致使贝加尔湖高压脊减弱东移入海，欧亚范围转为两槽一脊型，东欧为高压脊，西伯利亚至贝加尔湖以东为宽广低槽区，随东欧脊发展，脊前强偏北气流将极地冷空气向南输送，西伯利亚低涡位置偏北，新疆北部处于脊前西北急流控制之下，产生暖区暴雪(图5a)。下面进行典型个例详细分析。

(1) 天气实况及成因分析

2016年11月10—12日，塔额盆地出现暴雪，塔城、额敏、裕民站累积降雪量分别为44.2 mm、29.3 mm、52.3 mm，新增积雪分别为32 cm、22 cm、15 cm；日降雪量(10日20:00—11日20:00)分别为23.9 mm、16.2 mm、41.4 mm，分析塔城站地面降雪量、温度、气压随时间的变化(图5b)，主要降雪时段为10日14:00—12日08:00，最大小时雪强2.7 mm，满足气压呈下降趋势，温度呈升高趋势，但气压下降幅度较前两型明显，温度升高幅度最小。

暴雪初期11月10日20:00，300 hPa新疆北部处于高空西北急流带中(>36 m·s^{-1})，急流核最大风速达44 m·s^{-1}。500 hPa西西伯利亚低涡底部强西北风锋区(>32 m·s^{-1})位于45°~52°N，700 hPa巴尔喀什湖东部至塔城地区为西北偏西低空急流>30 m·s^{-1}，850 hPa塔城站与阿勒泰站为西北风与东南风的暖式切变。地面低压以西北路径东南移影响新疆，东移发展至新疆以北时，中心气压1005 hPa，塔城地区开始降雪，而后上游又有一低压系统南压东移发展，2个低压系统外围东南部持续影响北疆偏西偏北地区，塔城地区以北锋生，塔城地区位于锋前暖区(图略)。分析沿83°E的假相当位温、锋生函数垂直剖面(图5c)，此类型锋生位置与第一型较为一致，但位置偏南，等假相当位温密集带主要集中在700 hPa以下，且向北(冷空气)倾斜，塔城站以北地区等值线与地面近乎垂直，锋生函数为2.0×10^{-14} K·m^{-1}·s^{-1}，塔城地区处在锋前暖区，暖湿气流在弱偏南气流引导下向北输送，产生暖区暴雪。

分析此次暖区暴雪1000~500 hPa整层垂直积分水汽通量矢量(图5d)，水汽源地位于高纬度的巴伦支海、中纬度的里海、咸海和低纬度的地中海、阿拉伯海，其中来自地中海、阿拉伯海的水汽沿西南气流北上，经黑海、里海增强后沿偏西气流经东欧、乌拉尔山向东输送至巴尔喀什湖，来自巴伦支海的

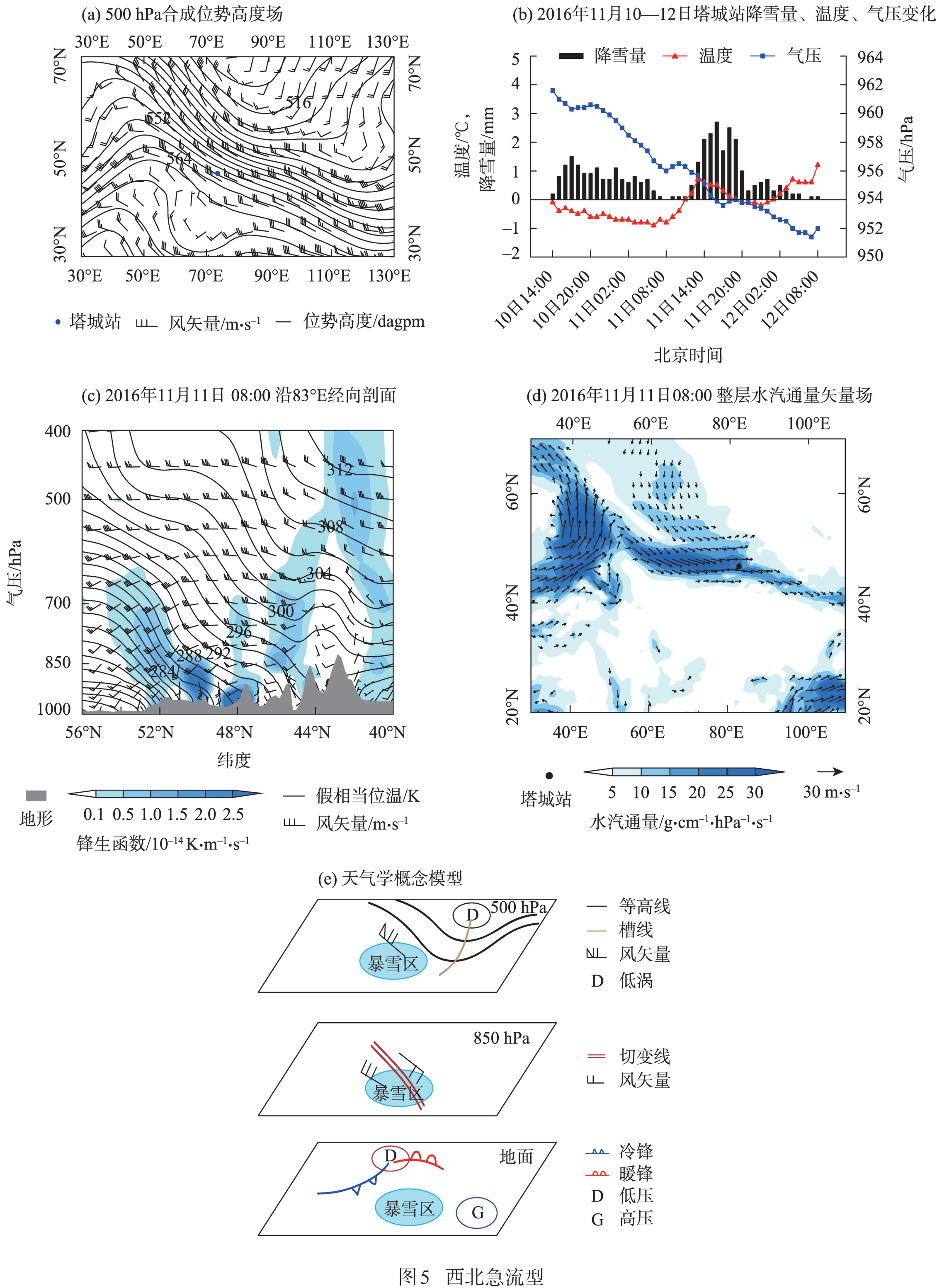


图5　西北急流型

Fig. 5　Northwest jet type

水汽沿西北气流向东南方向输送至巴尔喀什湖，2支水汽在巴尔喀什湖汇合，大值中心达30 g·cm⁻¹·hPa⁻¹·s⁻¹，再沿偏西气流输送至北疆偏北地区。此时地面至600 hPa伴有明显的水汽辐合，水汽辐合中心位于850 hPa附近，约−2.5×10⁻⁶ g·hPa⁻¹·cm⁻²·s⁻¹（图略）。

（2）三维空间配置概念模型

西北急流型暖区暴雪（图5e）发生于极锋锋区西北急流之下，500 hPa东欧为高压脊区，西伯利亚至贝加尔湖以东为低槽区，新疆处于脊前西北急流

控制之下,500~300 hPa为强盛的西北急流,700 hPa为西北偏西低空急流,850 hPa为西北风与东南风的暖式切变,但温度脊较前两型不明显,地面低压以西北路径东移南压影响新疆,锋前暖区产生暴雪。

4 结 论

(1) 塔城地区暖区暴雪出现在塔额盆地的塔城站、裕民站和额敏站,塔城站出现频次最多,裕民站次之,额敏站最少;时间分布上2010年出现跃增特点,11月和12月出现频次最高,且主要集中于11月中旬—12月上旬,1月次之,2月最少。但3站出现暖区暴雪时的平均日降雪量裕民站最大,额敏站次之,塔城站最小。

(2) 塔城地区暖区暴雪主要分为低槽前部型、横槽底部型和西北急流型,地面低压有西北、西方2条路径。低槽前部型是最典型的暖区暴雪形势,主要出现在11月—12月上旬,发生在西西伯利亚低槽前部锋区与中纬度短波槽汇合区,地面低压为西北路径;横槽底部型主要出现在11月—次年1月,发生在极锋锋区底部偏西气流和中纬度暖湿西南气流汇合的强锋区中,地面低压为西方路径;西北急流型主要出现在11—12月,发生在极锋锋区西北气流中,地面低压为西北路径。

(3) 500~300 hPa强西北或偏西急流、700 hPa偏西低空急流、850 hPa暖式切变的叠置区与暖区暴雪落区一致,低槽前部和西北急流型为锋前暖区产生暴雪,横槽底部型为低压右前部暖锋锋生产生暴雪。

(4) 低槽前部型和横槽底部型的水汽均为偏西路径,水汽自地中海、阿拉伯海经里海、咸海增强后向暴雪区输送,但横槽底部型水汽输送通道略偏南;西北急流型有偏西和西北2条水汽输送路径,来自高纬度巴伦支海的水汽与来自中纬度里海、咸海和低纬度的地中海、阿拉伯海的水汽在巴尔喀什湖附近汇合后向暴雪区输送,较强的水汽输送伴随低层明显的水汽辐合,强辐合中心位于850~700 hPa之间。

"暖区暴雪"是新疆独具特色的天气现象之一,降雪量级大,致灾严重,目前研究暖区暴雪多集中在阿勒泰地区,塔城地区暖区暴雪研究甚少,故本文通过对塔城地区暖区暴雪时空分布、环流特征及天气成因进行详细分析,建立了塔城地区不同类型暖区暴雪的天气概念模型,揭示了不同类型暖区暴雪的天气成因,有助于丰富塔城地区北部暖区暴雪发生机理的认识,凝练暖区暴雪的精细预报指标,为暖区暴雪预报预警提供关键技术支撑。由于地面观测资料稀疏,暖区暴雪的中尺度系统结构还缺乏清晰的认识,有待今后采用WRF及其他中尺度数值模拟加强对暖区暴雪过程中各种微粒特征及相互演变的微物理过程和规律进行研究,提高实际业务中暴雪落区及量级的精细化预报水平。

参考文献(References)

[1] 张志富, 希爽, 刘娜, 等. 1961—2012年中国降雪时空变化特征分析[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1765-1773. [Zhang Zhifu, Xi Shuang, Liu Na, et al. Snowfall change characteristics in China from 1961 to 2012[J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1765-1773.]

[2] 刘玉莲, 任国玉, 于宏敏. 中国降雪气候学特征[J]. 地理科学, 2012, 32(10): 1176-1185. [Liu Yulian, Ren Guoyu, Yu Hongmin. Climatology of snow in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(10): 1176-1185.]

[3] 董啸, 周顺武, 胡中明, 等. 近50年来东北地区暴雪时空分布特征[J]. 气象, 2010, 36(12): 74-79. [Dong Xiao, Zhou Shunwu, Hu Zhongming, et al. Characteristics of spatial and temporal variation of heavy snowfall in northeast China in recent 50 years[J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(12): 74-79.]

[4] 陈长胜, 王盘兴, 杨秀峰, 等. 东北地区暴雪天气的统计学划分方法及其时空分布特征[J]. 地理科学, 2012, 32(10): 1275-1281. [Chen Changsheng, Wang Panxing, Yang Xiufeng, et al. Classification and features of spatio-temporal variation of snowstorms in northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(10): 1275-1281.]

[5] 王晓明, 孙妍, 云天, 等. 1961—2010年吉林不同类型暴雪天气气候特征[J]. 高原气象, 2015, 34(4): 1139-1148. [Wang Xiaoming, Sun Yan, Yun Tian, et al. Climatological characteristics of different type heavy snowfall weather in Jilin during 1961—2010[J]. Plateau Meteorology, 2015, 34(4): 1139-1148.]

[6] 阎琦, 温敏, 陆井龙, 等. 两次引发辽宁暴雪过程低涡的动力发展机制[J]. 气象, 2016, 42(4): 406-414. [Yan Qi, Wen Min, Lu Jinglong, et al. Dynamic diagnosis on formation and developing mechanism of two vortices causing snowstorms in Liaoning[J]. Meteorological Monthly, 2016, 42(4): 406-414.]

[7] 孙欣, 蔡芗宁, 陈传雷, 等. "070304"东北特大暴雪的分析[J]. 气象, 2011, 37(7): 863-870. [Sun Xin, Cai Xiangning, Chen Chuanlei, et al. Analysis of the 4 March 2007 heavy snowstorm in northeast China[J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(7): 863-870.]

[8] 张迎新, 张守保, 裴玉杰, 等. 2009年11月华北暴雪过程的诊断分析[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1204-1212. [Zhang Yingxin, Zhang Shoubao, Pei Yujie, et al. Diagnostic analysis on snowstorm pro-

cess in north China in November 2009[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(5): 1204-1212.]

[9] 周雪松, 谈哲敏. 华北回流暴雪发展机理个例研究[J]. 气象, 2008, 34(1): 18-26. [Zhou Xuesong, Tan Zhemin. Case study on development mechanism of a snow storm over north China[J]. Meteorological Monthly, 2008, 34(1): 18-26.]

[10] 赵桂香, 程麟生, 李新生. "04·12"华北大到暴雪过程切变线的动力诊断[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 615-623. [Zhao Guixiang, Cheng Linsheng, Li Xinsheng. Dynamic diagnosis of shear line from "04·12" north China to blizzard[J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(3): 615-623.]

[11] 张元春, 孙建华, 傅慎明. 冬季一次引发华北暴雪的低涡涡度分析[J]. 高原气象, 2012, 31(2): 387-399. [Zhang Yuanchun, Sun Jianhua, Fu Shenming. Analysis of vorticity during vortex producing snowstorm in north China in winter[J]. Plateau Meteorology, 2012, 31(2): 387-399.]

[12] 林志强, 假拉, 薛改萍, 等. 1980—2010年西藏高原大到暴雪的时空分布和环流特征[J]. 高原气象, 2014, 33(4): 900-906. [Lin Zhiqiang, Jian La, Xue Gaiping, et al. Spatial-temporal distribution and general circulation of heavy snow over Tibet Plateau in 1980—2000[J]. Plateau Meteorology, 2014, 33(4): 900-906.]

[13] 索渺清, 丁一汇. 南支槽与孟加拉湾风暴结合对一次高原暴雪过程的影响[J]. 气象, 2014, 40(9): 1033-1047. [Suo Miaoqing, Ding Yihui. A case on the effect of southern branch trough in the subtropical westerlies combined with storm over the bay of Bengal on plateau snowstorm[J]. Meteorological Monthly, 2014, 40(9): 1033-1047.]

[14] 王勇, 赵战成, 晏军, 等. 新疆雪灾的时空分布特征及其等级划分[J]. 干旱区地理, 2020, 43(3): 577-583. [Wang Yong, Zhao Zhancheng, Yan Jun, et al. Spatial and temporal distribution characteristics and its classification of snow disaster in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(3): 577-583.]

[15] 李如琦, 唐冶, 肉孜·阿基. 2010年新疆北部暴雪异常的环流和水汽特征分析[J]. 高原气象, 2015, 34(1): 155-162. [Li Ruqi, Tang Ye, Aki Rozi. Atmospheric circulation and water vapor characteristics of snowstorm anomalies in northern Xinjiang in 2010[J]. Plateau Meteorological, 2015, 34(1): 155-162.]

[16] 于碧馨, 洪月, 张云惠, 等. 天山两麓一次极端暴雪天气多尺度配置及机制分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(5): 11-18. [Yu Bixin, Hong Yue, Zhang Yunhui, et al. Multiscale configuration characteristics and mechanism of an extreme snowstorm over the astride of Tianshan Mountains[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2020, 14(5): 11-18.]

[17] 庄晓翠, 李健丽, 李博渊, 等. 天山北坡2次暴雪过程机理分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(1): 29-38. [Zhuang Xiaocui, Li Jianli, Li Boyuan, et al. The mechanism analysis of two times blizzard in central of north slope of Tianshan Mountains[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2019, 13(1): 29-38.]

[18] 张俊兰, 施俊杰, 李伟, 等. 乌鲁木齐暴雪天气的环流配置及中尺度系统特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(1): 1-8. [Zhang Junlan, Shi Junjie, Li Wei, et al. Atmospheric circulation and meso-scale system characteristics of snowstorm in Urumqi[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2021, 15(1): 1-8.]

[19] 李桉孛, 万瑜, 张俊, 等. 1961—2019年乌鲁木齐暴雪环流分型及其成因分析[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 379-388. [Li Anbei, Wan Yu, Zhang Jun, et al. Circulation classification and cause analysis of the snowstorm case in Urumqi region from 1961 to 2019 [J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 379-388.]

[20] 刘晶, 李娜, 陈春艳. 新疆北部一次暖区暴雪过程锋面结构及中尺度云团分析[J]. 高原气象, 2018, 37(1): 158-166. [Liu Jing, Li Na, Chen Chunyan. The frontal structure and analysis on meso-scale cloud characteristic during a warm zone blizzard process in north Xinjiang[J]. Plateau Meteorological, 2018, 37(1): 158-166.]

[21] 张林梅, 李博渊, 庄晓翠, 等. 新疆北部2次罕见暖区暴雪过程对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(2): 1-9. [Zhang Linmei, Li Boyuan, Zhuang Xiaocui, et al. Comparative analysis of two rare warm zone snowstorms in northern Xinjiang[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2021, 15(2): 1-9.]

[22] 李桉孛, 李如琦, 李娜, 等. 新疆北部持续暖区暴雪过程动力特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(5): 53-60. [Li Anbei, Li Ruqi, Li Na, et al. Dynamic characteristics of persistent warm area snowstorm in northern Xinjiang[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2020, 14(5): 53-60.]

[23] 美丽巴奴·艾则孜, 张俊兰, 王小亚. 北疆北部一次暖区暴雪天气过程的综合分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(4): 107-114. [Aizezi Meilibanu, Zhang Junlan, Wang Xiaoya. Comprehensive analysis of a warm area snowstorm weather in northern Xinjiang [J]. Desert and Oasis Meteorology, 2021, 15(4): 107-114.]

[24] 庄晓翠, 李博渊, 陈春艳. 新疆北部一次暖区与冷锋暴雪并存的天气过程分析[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(1): 17-28. [Zhuang Xiaocui, Li Boyuan, Chen Chunyan. Analysis of a snowstorm weather process in a coexisting warm area and cold front in northern Xinjiang[J]. Climatic and Environmental Research, 2016, 21(1): 17-28.]

[25] 周斌, 毛荣, 郭翔, 等. 塔城地区南部暴雪天气特征及环流分型[J]. 农业与技术, 2019, 39(14): 145-147. [Zhou Bin, Mao Rong, Guo Xiang, et al. Blizzard weather characteristics and circulation classification in southern Tacheng area[J]. Agriculture and Technology, 2019, 39(14): 145-147.]

Circulation classification and cause analysis of the warm-area blizzards in Tacheng area in recent 20 years

WEI Juanjuan, WAN Yu, ZHANG Junlan, ZHAO Fenghuan, LI Anbei

(Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: Select daily precipitation, temperature, conventional ground and upper-air observation data, the national center for environmental prediction reanalysis data collected from seven national meteorological observatories in the Tacheng area of Xinjiang, China, from November 2000 to March 2019 to determine the warm snowstorm weather process in the Tacheng area over the past 20 years. The analysis results show the following: (1) The warm-area blizzards in the Tacheng area occurred in Tacheng Station, Yumin Station, and Emin Station in the Tacheng-Emin Basin, and Tacheng Station had the most frequent occurrences; in terms of time distribution, the frequency of warm-area blizzards occurred in November and December and was primarily concentrated in mid-November to early December, followed by January and the least in February. (2) The blizzard in the warm area of Tacheng is divided into three types: low trough front type, horizontal trough bottom type, and northwest jet type. The surface low pressure is primarily in the west and northwest path. The low trough front type is the most typical warm-area blizzard situation, which primarily occurs from November to early December and occurs in the confluence area of the frontal area of the low trough in West Siberia and the mid-latitude short-wave trough of the southern branch; the surface low pressure has a northwest path. The horizontal trough bottom type occurs primarily from November to January of the following year and occurs in the strong frontal area in which the westward airflow at the bottom of the polar frontal area and the warm and humid southwesterly airflow at the mid-latitude converge; the surface low pressure follows a westward path. The northwest jet type primarily occurs from November to December. It occurs in the northwesterly airflow in the polar frontal area, and the surface low pressure has a northwest path. (3) The superimposed area of 500−300 hPa strong northwest or westward jet, 700 hPa westward low-level jet, and 850 hPa warm shear is consistent with the blizzard fall area in the warm area. The low trough front type and the northwest jet type produce blizzards in the frontal warm area, and the horizontal trough bottom type produces blizzards in the low-pressure right warm front. (4) The water vapor in the low trough front type and the horizontal trough bottom type is in a westward path. The water vapor from the Mediterranean Sea and the Arabian Sea is improved by the Caspian Sea, Aral Sea, and then transported to the blizzard area. The northwest jet type has two water vapor types in the west and northwest. The water vapor from the high-latitude Barents Sea and the water vapor from the mid- and low-latitude Caspian Sea, Aral Sea, the Mediterranean Sea, and the Arabian Sea converge near Lake Balkhash and are transported to the blizzard area. The strong convergence center is located between 850 hPa and 700 hPa.

Key words: blizzard in warm area; temporal and spatial distribution characteristics; synoptic classification; three-dimensional configuration of weather system